[illegible] من [illegible] المعرفة



ما السر في لمعان الشمس؟

30.1.2013

ألان بوكي

ترجمة
د. رشيد برهون





ثمرات

من دوحة المعرفة

ألان بوكي

ما السرُّ في لمعان الشمس؟

ترجمة

د. رشيد برهون

مراجعة

د. فريد الزاهي



الطبعة الأولى 1433هـ 2012م
حقوق الطبع محفوظة

QB521 .B6812 2012
Bouquet, Alain.
[Pourquoi le soleil brille-t-il?]
ما السرّ في لمعان الشمس؟ / تأليف ألان بوكي؛ ترجمة رشيد برهون؛ مراجعة فريد الزاهي- أبوظبي: هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة، كلمة، 2012.
74 ص : 10×16 سم.
(سلسلة ثمرات من دوحة المعرفة)
ترجمة كتاب: Pourquoi le soleil brille-t-il?
تدمك: 978-9948-17-039-6
1 - الشمس. 2 - الطاقة الشمسية.
أ-برهون، رشيد. ب-زاهي، فريد.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الفرنسي:
Alain Bouquet
Pourquoi le soleil brille-t-il ?


كلمة
KALIMA
www.kalima.ae

ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 451 6515 2 971+ فاكس: 127 6433 2 971+


هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY

ما السرُّ في لمعان الشمس؟

إلى إفلين...

من دون حبها لا شيء ممكنٌ.

المحتويات

هل الشمس كاملة؟

لماذا تلمع الشمس؟ سؤال مهم قلَّما نطرحه. الشمس تلمع مثلما البحر أزرق، والأوراق خضراء، وحبات التفاح تسقط من أشجارها. هي سُنّة الحياة والكائنات، فلماذا إذن البحث عن الأسباب؟ ولكن ما أن يُطرَح السؤال، حتى يصبح من غير الممكن تجاهلُه، بل يغدو لزاماً التماسُ جواب له. وسرعان ما تنهال على الذهن أسئلة أخرى من قبيل: منذ متى والشمس تلمع؟ هل سينطفئ نورها يوما ما؟ هل توجد شموس أخرى؟ وقبل هذا وذاك، ما هي طبيعة الشمس؟

تمنح الشمس الضوءَ والحرارة، وهي بذلك مصدر حياة؛ ولكنها أيضاً تُحدِث الجفافَ والحرائق، لتصبح مصدر موت وهلاك. إنها إذن ذات طبيعة ملتبسة مزدوجة، خلّاقة ومدمِّرة، تماماً مثل الآلهة.

وهي من القوة، بحيث إن كل ملِك عظيم لا يتوانى عن التباهي بلقب ابن الشمس.

تبدو الشمس من بعيد أكثر الكواكب لمعاناً، تنجز دورتها اليومية بانتظام مذهل، دون أن ينال ذلك من ألقها، بخلاف القمر الذي لا ينفكُّ قرصُه يغيّر حجمه بين كِبر وصِغر. إنها بذلك تجسد الكمال والخلود، وهما صفتان إلهيتان بامتياز. ماذا تفعل الشمس ليلاً؟ إنها تعبر عالما متلفّعا بالغموض، مخترقةً مملكة الموتى، قبل أن تنبعث صباحاً متسربلةً بضوء أرجواني يثير في الذهن صورة دم الميلاد، ليصبح انبعاثُ الشمس انبعاثاً للحياة. أتكون الشمس إلها، أو إِلهة، بل ربة الآلهة، أو على الأقل عين الإله الأعظم؟

لكن، في هذه الحالة، سيكون من باب التجديف طرح أسئلة حول طبيعتها أو عملها، لأنها في حدِّها كاملة تقصُر المعرفة عن الإحاطة بالشمس

ولكنها حتماً شيء من أشياء العالم المادي ولكن ما هي طبيعة هذا الشيء؟ يمكن القول إن النار أقرب الأشياء المادية إلى الشمس، فهي تشبهها في كثير من الجوانب. إنها أيضاً تأتي بالضوء والحرارة، وبالحروق والحرائق. قد تكون جزءاً من الشمس اختلسه في غابر الأزمان بطل ما ليؤسس طائفته الشمسية، أو حيوانٌ أسطوري! ولْنتصور العكس ولْننطلق من النار لنتساءل: ألا يساهم إشعال النيران القوية إبَّان احتفالات القديس يوحنا مثلاً في ضخ بعض القوة في الشمس المُنهَكة؟ أتكون الشمس كتلة من الجمر الملتهب؟ يبدو أن الفلاسفة الإغريق طرحوا هذا الاحتمال مراراً وتكراراً، باستثناء أرسطو الذي لاحظ أن النار في حركتها الطبيعية تصعد عمودياً، بينما تنجز الشمس حركة دائرية حول الأرض. وبالتالي، لا يمكن أن يكون لكل من الشمس والنار الطبيعة نفسُها. وإذا كانت

كل الأجسام الأرضية مكوَّنة من العناصر الأربعة الأساسية، وهي الماء والتراب والهواء والنار، فإن الشمس لا بد أن تكون مكوَّنة من عنصر خامس، أي من جوهر خامس أو ماهية. وبخلاف العناصر الأربعة الأخرى، فإن العنصر الخامس ثابت لا يلحقه التغيُّر ويتصف بالخلود، كما أن عالم ما فوق القمر العلوي لا يخضع للتقلبات والأعراض والانحطاط التي هي قدَر عالمنا السفلي ما تحت القمر. ولا ننس أن العلوم الطبيعية الأرسطية سادت ألفي سنة في صورتها الأصلية.

وبحلول عصر النهضة بدأت أولى التصدُّعات تنخر هذا البناء النظري، فعالم ما فوق القمر ليس بذلك الثبات الذي قال به أرسطو، والدليل على ذلك تلك النجوم التي تظهر فجأة لتختفي بعد بضعة أسابيع، من هنا الاسم اللاتيني nova stella، أي النجمة الجديدة، الذي ظل يُطلق عليها. وقد

بيَّن عالم الفلك الدنمركي طيشو براهي Tycho Brahé أن المذنّبات العابرة تتنقل في الفضاء الممتد ما وراء القمر. ولوحِظ أيضاً في السياق نفسه مرور ظلال أحياناً أمام الشمس، ولكن منظار غاليلي Galilée بيَّن بوضوح أن الأمر يتعلق في الحقيقة ببقع عرضية توجد على سطح النجم! ويأتي فونتونيل Fontenelle في كتابه «أحاديث حول تعدد العوالم»[1]، ليعبر بوضوح عن حجم الصدمة التي تلقَّتها الأوساط الفلسفية حينها، يقول: «كان فلاسفتنا قبل فترة قصيرة يعتقدون أن التجربة تؤكد ما يذهبون إليه حول طبيعة السماوات وكل الأجسام السماوية التي لا يلحقها التغير والفساد [...] فالشمس إذن جسم متميز، ولكن أي نوع من الأجسام؟ إننا نجد صعوبة كبرى في الإجابة على هذا السؤال. وقد ظل الجميع يعتقدون دائماً

(1) Entretiens sur la pluralité des mondes.

أن الشمس نار خالصة جدا؛ ولكن تبين خطأ هذه الفكرة في بداية هذا القرن مع ملاحظة وجود بقع فوق سطحها. [...] قد تكون هذه البقع جزءاً من كتلة ضخمة صلبة تصلح وقوداً لنار الشمس. [...] ولكن، إذا كانت الشمس ناراً مرتبطة بمادة صلبة تغذيها، فهذه المادة الصلبة حتماً ستحترق وتنفد، مما يعني أن هذا التفسير لا يقوم على أساس. ويقال أيضاً إن من حظ البشرية أنها أفلتت من فناء محتوم، فالشمس ظلت سنوات عديدة شاحبة ذاوية، مثلاً طوال السنة التي أعقبت موت قيصر الروم César».

أتكون الشمس إذن منذورةً للفناء؟

منذ متى والشمس تلمع؟

إن كان ثمة شيء يحترق في الشمس، فسيكون مفيداً معرفة ما هو هذا الشيء. وهنا يبرز السؤال الآتي المخيف: ألا يُحتمل أن ينفد هذا الوقود، وهو ما سيؤدي إلى انطفاء الشمس؟ وأخيراً، منذ متى والشمس تحترق؟ هذه الأسئلة لم تعد تُطرَح في المجال الفلسفي، ولكن في مجال الفيزياء بتوظيف الأعداد والكميات القابلة للقياس، خاصة وأن مفهوميْ الحرارة والطاقة اكتسبا دقة أكبر بعد أن ظلا حتى ذلك الحين، أي في القرن السابع عشر غير واضحين بما فيه الكفاية. كما مكّنت دراسة الإشعاع والحرارة في إطار **الديناميكا الحرارية** من الصياغة الكمّية للعلاقة بين درجة حرارة جسم حارّ ولون الضوء الصادر عنه. هكذا أدرك العلماء أن الشمس تلمع فقط لأنها حارة، وحرارة سطحها البالغة 5500

درجة مئوية تضفي عليها لوناً أصفر رائعاً. الشمس حارة إذن وهي تلمع. ولكن لماذا هي حارة؟ وهناك سؤال وثيق الصلة بما سبق، سرعان ما تبين العلماء أهميته: منذ متى والشمس حارة؟

صاغ عالما الفيزياء الألمانيان هرمان فون هلموتز Hermann von Helmholtz وروبي فون ماير Robert von Mayer أول قانون في الديناميكا الحرارية، وهو **قانون المحافظة على الطاقة**. ومفاده أن الطاقة قد يتغير شكلها؛ فالطاقة الميكانيكية قد تتحول إلى طاقة حرارية والعكس صحيح، ولكن الكمية الإجمالية للطاقة لا تتغير. عندما طُبِّق هذا القانون على الشمس، وجد العلماء أنفسهم أمام مشكلة كبرى، فالشمس عندما تُصدِر الضوء والحرارة. إنها تُرسِل طاقة في وسط ما بين الكواكب، وهي طاقة تُنتزَع بالضرورة من طاقتها الخاصة. وبالتالي. والشمس لا بد أن تبرد تدريجياً

مثل قذيفة مدفع أُخضِعت لتسخين في درجات حرارة قصوى لينتقل لونُها شيئاً فشيئاً إلى الأصفر ثم إلى الأحمر. وكان من السهل الاستدلال على أن درجة حرارة الشمس تنخفض حتماً بدرجة واحدة مئوية! وهنا المأزق، فمن المستحيل تصوُّر أن درجة حرارة الشمس كانت أكبر بألفي درجة في العصور القديمة، وإلا لزُم أن تتجاوز مائة درجة، مما كان سيؤدي حتماً إلى غليان مياه البحار! لكن، إذا لم تكن الشمس تبرد، فمعناه أن الطاقة التي تفقِدُها في الإشعاع تسترجعها من مصدر آخر. وبالتالي، فإما أن الشمس تتغذى على مصدر طاقة داخلي، وإما أنها تتلقى من الخارج كمية طاقة منتظمة. ونحن لا نستغرب إذن أن يُقدَّمَ تفسيرٌ مفاده أن الشمس تستهلك وقوداً مثل الفحم، خاصة وأن صورة الآلة البخارية كانت حاضرة في كل الأذهان طوال القرن التاسع عشر. لكن هيهات أن يستقيم هذا التفسير،

فحتى لو كانت الشمس تتغذى على أجود أنواع الفحم، فليس بإمكانها أن تظل مشتعلة أكثر من بضعة آلاف من السنين، مع كل ما تنتجه من هذه الطاقة التي نراها. ويبدو أن لا أحد خطر بباله حينها افتراض أن الشمس يمكن أن تُزوَّد بانتظام بالفحم كلما نفد. إضافة إلى أن كل عمليات الاحتراق الكيميائية التي تخيل العلماء إمكانية حدوثها كانت تقف بهم عند مدة زمنية لا يمكن تجاوزها، بضع عشرات السنين، بل وفي أقصى تقدير بضع عشرات الآلاف من السنين، بوجود أكثر التفاعلات قوة مثل احتراق الهيدروجين في الأكسجين. هكذا أُسقِط في يد العلماء واقتنعوا بضرورة التخلي عن القول بوجود احتراق كيميائي.

كان مصدر الطاقة الوحيد المعروف حينها هو الجاذبية، أي التجاذب المتبادل بين الكتل كما كشف عنه إسحاق نيوتن. وإذا كانت هذه الطاقة تشغِّل

محطات توليد الطاقة الكهربائية في السدود بفضل الشلالات، فكيف تستطيع توليد الطاقة الشمسية؟ افترض كل من ماير Mayer وزميله وليام طومسون William Thomson الذي سيصبح اسمه فيما بعد اللورد كلفين Lord Kelvin، أن الشمس تتزوّد بانتظام بالطاقة بفعل قصف النيازك لسطحها، وهي نيازك تجذبها كتلة الشمس الضخمة وتسرِّع إيقاعها. قد تبدو هذه الفكرة غريبة لا يقبلها العقل. ولكن، لنحاول مع ذلك النظر فيها، ولا نتسرعْ في إصدار الأحكام. تبلغ سرعة نيزك يصطدم بالشمس ستمائة كيلومتر في الثانية، ويكفي حساب بسيط كي ندرك أن صخرة صغيرة تصطدم بالشمس تؤدي إلى تحرير طاقة تساوي الطاقة الناتجة عن انفجار قنبلة نووية مثل تلك التي ضربت هيروشيما. ولا أحد يجهل الأضرار الناجمة عن سقوط نيزك بقطر كيلومتر واحد على الأرض، مثل ذاك الذي

ضرب كوكبنا قبل 65 مليون سنة، في فترة انقراض الديناصورات. ويكفي أن يتساقط على الشمس ألفا مليار طن من النيازك في الثانية لتبيُّن مقدار الطاقة التي تُصدِرها. وهو على أي حال كمٌّ زهيد، بالكاد يمثل ثلاثين جزءاً من مليون جزء من كتلة الشمس سنوياً، لهذا سنظل وقتاً طويلاً لا نتفطن لهذا المقدار من الطاقة. ومع ذلك، ما كان علماء الفلك ليفوتهم ملاحظة مثل هذا الكم من النيازك المتساقطة على الشمس. عدا أن الأرض نفسها ما كان بالإمكان أن تظل بمأمن من ملايين الأطنان من هذه النيازك التي لا بد أن تصيب الأرض في كل ثانية، مما كان سيجعلنا نتفطن بسرعة إلى هذه الظاهرة. وهكذا استُبعِد هذا التفسير هو أيضاً.

وبما أن العلماء لم يكونوا يعرفون مصدراً آخر للطاقة، فقد عمد هلموتز سنة 1854 وبعده كلفين إلى إعادة صياغة فكرة الجاذبية في قالب أكثر إقناعاً،

فبيّنا حسابياً أن الشمس إذا كانت تتقلص ببطء بفعل ثقلها نفسه، فإن هذا التقلُّص كان سيؤدي إلى تسخينها. ويكشف الحساب أن التقلص الضروري ضعيف جداً، لا يتجاوز بضع عشرات الأمتار سنوياً. وتبعا لذلك، فإن تناقص قطر الشمس سيظل غير محسوس، حتى بعد مرور العديد من آلاف السنين. إضافة إلى ذلك، فهذا الحساب يمكِّن أيضاً من حساب عمر الشمس، حيث إن ثلاثين مليون سنة كافية لخفض قطر الشمس من اللانهاية إلى حجمه الحالي. ولم يتردد اللورد كلفين من الإقرار بأن علماء الجيولوجيا مخطئون عندما يذهبون إلى القول إن عمر الأرض يبلغ عدة مليارات من السنين، كما أن نظرية التطور البيولوجي لا تقوم على أساس لأنها تتطلب مئات الملايين من السنين من التطور البطيء.

أحدثت هذه الفكرة أثراً بليغاً في نفس شارل

داروين، مما جعله يصرِّح أن هوَس اللورد كلفين بالاستدلال على فتوَّة الشمس هو الذي أملى عليه هذا التفسير. ومع ذلك، رفض العلماء البيولوجيون والجيولوجيون الرضوخ لحجج الفيزيائيين، واقتنعوا في قرارة أنفسهم بوجود خلل في طريقة استدلالهم، نظراً لأن التطبيق الصارم لقوانين الفيزياء على علم الفلك يؤدي إلى نتائج تتناقض مع ما توصلوا إليه من ملاحظات.

لكن، ماذا لو كانت هذه القوانين نفسها ناقصة؟!

لماذا الشمس حارة؟

ظلت هذه القضية تثير حيرة العلماء إلى حين اكتشاف النشاط الإشعاعي لمادة الأورانيوم على يد الفرنسي هنري بكيريل Henri Becquerel سنة 1896. وقد بيَّن كل من بيير Pierre وماري كوري Marie Curie سنة 1903 عن طريق قياس الحرارة الصادرة عن بضع ميلغرامات من الراديوم أن المادة يمكنها أن تختزن كمية كبرى من الطاقة في شكل ليس كيميائياً ولا جذْبياً. وسارع العديد من علماء الفيزياء إلى تلقُّف هذا التفسير المحتمَل لمصدر طاقة الشمس، بدءاً بالبريطانيَّيْن جورج داروين George Darwin ابن شارل داروين وإرنست روثرفورد Ernest Rutherford. ومع ذلك، بيّنت بعض الدراسات الفلكية المتطورة أن الشمس لا تتكون لا من الراديوم ولا من الأورانيوم، ولكنها مكوَّنة

كلها تقريباً من الهيدروجين والهليوم. يعني ذلك أن النشاط الإشعاعي ليس هو أصل طاقة الشمس، وإن كان هذا التفسير قد مثَّل في الحقيقة خطوة لا يستهان بها نحو الجواب. ومن المعروف أن الراديوم يستقي طاقته من تحول جزء صغير منه إلى طاقة خالصة، وهو بذلك يخِفُّ عن طريق الإشعاع. يمثل هذا المسلسل حالة خاصة من التكافؤ بين الكتلة والطاقة، وهو التكافؤ الذي تقوم عليه النظرية النسبية المقيَّدة التي صاغها أينشتاين سنة 1905، حيث نجد أنفسنا أمام إحدى أشهر المعادلات الفيزيائية، وهي E = mc2. وتعبر هذه المعادلة عن التكافؤ بين الكتلة m، والطاقة E، بينما معامل التناسب هو مربع سرعة الضوء c. وسرعة الضوء مرتفعة جداً قياسا إلى معاييرنا العادية، حيث تبلغ 300 ألف كيلومتر في الثانية. يعني ذلك أن غراماً واحداً من المادة يحتوي على طاقة هائلة تساوي 25 مليون كيلووات ساعة. وكل كتلة هي

طاقة، وتتميز الكتلة بكونها طاقة مركَّزة. يعني ذلك وجوب توسيع نطاق قانون المحافظة على الطاقة ليشمل الكتلة إلى جانب الأشكال الأخرى الممكنة من الطاقة، كالطاقة الحرارية والطاقة الكيميائية والطاقة الحركية وطاقة الجاذبية. ولن يمرّ وقت طويل حتى تظهر إلى الوجود الطاقة النووية التي اكتشفها أينشتاين، وسيتحدث الناس بإعجاب عن قدرة سفينة ضخمة على إنجاز دورة كاملة حول العالم دون أن تستهلك سوى بضعة كيلوغرامات من الأورانيوم.

فتحت فكرة التكافؤ بين الكتلة والطاقة آفاقاً واسعة أمام علماء الفلك، فتساءلوا: ألا يمكن افتراض أن الشمس تستقي طاقتها من كتلتها نفسها، وأنها تحوِّل جزءاً منها إلى إشعاع؟ ولم يكن من الصعب التوصل عن طريق الحساب إلى أن الطاقة الإشعاعية الصادرة عن الشمس في الثانية الواحدة تساوي

كتلة من أربعة ملايين من الأطنان، وهي كتلة صغيرة جداً مقارنة بكتلة الشمس التي تبلغ مليارين مليار مليارات الأطنان. يبدو هذا الأمر إذن ممكناً نظرياً، فالاحتياطي الهائل من الطاقة التي تتشكل منها كتلة الشمس تمكِّنها مبدئياً من الإشعاع مليارات من السنين دون أن تفقد الكثير من مخزونها هذا، وبالتالي فإن الفيتو الذي استخدمه اللورد كلفين يتهاوى من تلقاء ذاته.

لنخفِّفْ مع ذلك من حماسنا؛ فأن تكون الكتلة مكافئة للطاقة لا يعني بتاتاً سهولة تحويل إحداهما إلى الأخرى، ناهيك عن أن يكون هذا التحول كاملاً. كما أن تصورَ عملياتٍ فيزيائية تمكِّن من تحويل الكتلة إلى طاقة تحويلاً فعَّالاً، مسألة من الصعوبة بمكان. فالفناء المتبادل بين المادة وكمية مساوية لها من المادة المضادة يتميز بفعالية تصل إلى نسبة مائة في المائة، ولكن الشمس لا تتغذى على

شمس مضادة قريبة منها. وذاك من حسن حظ البشرية، لأن فناءها المتبادل سيكون سريعاً جداً! يجب إذن البحث عن طريقة فيزيائية أخرى تمكِّن من تحويل الكتلة إلى طاقة.

كان العلماء قد بيَّنوا في مستهل القرن العشرين أن الشمس مكوَّنة أساساً من كم كبير من مادة الهيدروجين وقليل من الهليوم، وهما أبسط العناصر الكيميائية الموجودة. وتتكون ذرة الهيدروجين من إلكترون واحد يدور حول نواة مكوّنة من جزيء واحد وهو البروتون. وتحتوي ذرة الهليوم على إلكترونَيْن يدوران حول نواة مكوّنة من أربع جزيئات وهما بروتونان ونيترونان.

واستناداً إلى هذه المعطيات، طُرِح السؤال حول الطرائق التي يمكن تصورها لتحويل جزء من الكتلة إلى طاقة. ألا يمكن الجمع بين أربعة بروتونات منفردة من الهيدروجين لتكوين نواة هليوم؟ وبما

أن النيترونات لم تكن معروفة سنة 1919، فقد ساد الاعتقاد أن نواة الهليوم مكونة من أربعة بروتونات، مما جعل عالم الفيزياء الفرنسي جان بيران Jean Perrin يفترض أن هذه البروتونات الأربعة إذا كانت أثقل من نواة الهليوم، فإن انصهارها سيحرر الطاقة المعادلة للفرق في الكتلة. ومباشرة بعد ذلك، بيَّن البريطاني فرانسيس أستون Francis Aston سنة 1920 أن الهليوم أخف ب0,7 في المائة من البروتونات الأربعة، كما أن مواطنه أرتور إدنغتون Arthur Eddington سارع إلى تقدير أن انصهار كل ذرات الهيدروجين التي تتكون منها الشمس لإنتاج الهليوم سيوفر طاقة كافية لتمكين الشمس من اللمعان بقوتها الحالية خلال مائة مليار سنة. بيد أن اكتشاف النيترون سنة 1930 دفع بالعلماء إلى إعادة ترتيب أوراقهم؛ ولكن سرعان ما تبين أن البروتون والنيترون يمكن أن يتحول أحدهما إلى الآخر

في حال تدخل إلكترون ونيوترينو في عمليات التحول، وهذه النقطة سنعود إليها لاحقا. بقي فقط تعرُّف الكيفية التي يتم فيها الانصهار بالضبط، وهو ما تحقق سنتي 1938 و1939 مع العالميْن الفلكييْن الألماني كارل فون ويزساكر Carl von Weizsäcker والأمريكي هانس بيث Hans Bethe. وقد أصبح معروفاً اليوم أن تحويل الهيدروجين كله إلى هليوم أمر غير ممكن، لأن تفاعلات الانصهار لا تقع إلا في درجة حرارة تبلغ ملايين من الدرجات المئوية، وهي درجة لا تتحقق إلا في قلب الشمس. وبالتالي، لا يمكن تحويل سوى 10 في المائة من الهيدروجين. وبما أن الشمس عمرها اليوم عشر مليارات سنة، فمعناه أنها قاربت اليوم منتصف العمر.

لنفحصْ إذن عن كثب هذا النجم في قمة اكتماله.

مِمَّ تتكون الشمس؟

لننجزْ أولاً بطاقة تعريف الشمس. إنها عاتمة، والضوء الذي نتلقاه منها صادر عن قشرة سطحية جداً. ولا يتوفر لدينا سوى القليل من المعطيات حولها، من قبيل كتلتها المقدَّرة بمليارين مليار مليار طن، وقطرها البالغ 696 ألف كيلومتر، ولمعانها. وهي معطيات كافية مع ذلك للشروع في استنتاج مجموعة من الخلاصات التي ستؤدي إلى بناء نظرية الشمس. ولا يصلنا من الطاقة الإشعاعية الصادرة عن الشمس في الثانية الواحدة سوى جزء قليل جداً، تقريباً 1,4 كيلووات في المتر المربع من سطح الأرض. وتولِّد الشمس درجة سخونة تعادل ما ينتج عن مصباح من مائتي وات موجود على بُعد عشر سنتيمترات تقريباً. ومع ذلك، فهذا القدر البسيط من الطاقة مسؤول إلى حد كبير عن وجود

الحياة على وجه الأرض، إلى جانب ظواهر مناخية وجيولوجية، باستثناء النشاط البركاني وتحرك القارات. وبما أن المسافة الفاصلة بين الأرض والشمس تبلغ 149 مليون كيلومتر، فإن الشمس تصدر إشعاعاً مقداره 3,83 × 1026 وات، مما يعادل ما تنتجه 300 مليار مليار محطة نووية بقوة 1300 ميغاوات، أي 100 مليار مليار كيلوات ساعة في الثانية.

ويشكل الضوء الذي نتلقاه من الشمس المصدر الأساس لمعلوماتنا حولها. وضوؤها «الأبيض» يضم في الحقيقة المجموعة الواسعة من الألوان التي تظهر في قوس قزح والتي نطلق عليها اسم «الطيف». وتبلغ الكثافة أقصى مداها في الأصفر، مما يعادل الضوء الصادر عن جسم خضع لتسخين في درجة حرارة تناهز 5500 درجة مئوية، وبهذه الطريقة نتمكن من تعرُّف درجة حرارة سطح

الشمس. وتمثل البقع الشمسية مناطق أكثر برودة حيث لا تتجاوز الحرارة 3800 درجة مئوية. وعن طريق الضوء الذي نتلقاه من الشمس، نتعرَّف أيضاً تكوينها الكيميائي. وكان عالم الفيزياء الألماني جوزيف فون فراونهوفر Joseph von Fraunhofer لاحظ سنة 1814 وجود مئات الخطوط السوداء الضيقة في الطيف الشمسي. وبين مواطنه غوستاف كيرشهوف Gustav Kirchhoff سنة 1859 أن كل ذرة تقابل سلسلة مضبوطة من الخطوط. وفي سنة 1862، توصل السويدي أندرس أنغستروم Anders Ångström إلى تمييز ذرات الهيدروجين في طيف الشمس، مقدِّما الدليل على أنها تحتوي مثل الأرض على العناصر نفسها. وفي سنة 1868، أعلن فريق العمل المشترك المكوَّن من العالمين الفلكيين الفرنسي جول جانسن Jules Janssen والبريطاني نورمان لوكير Norman Lockyer اكتشاف عنصر

في الشمس غير معروف في كوكبنا، ومنحاه اسم «هليوم» وهو مستقى من الكلمة الإغريقية helios أي الشمس. بيد أن العالم الكيميائي وليام رامسي William Ramsay عثر سنة 1893 على هذا العنصر في معادن إشعاعية أرضية.

تكشف المعاينة بواسطة المنظار الطيفي احتواء الشمس على نفس العناصر الكيميائية الموجودة في الأرض، وإن بكميات مختلفة، فالهيدروجين يمثل 92,1 في المائة من مجموع ذرات الشمس، والهليوم 7,8 في المائة، وهما معاً يمثلان إذن 99,9 من إجمالي ذرات الشمس. أما العناصر الأخرى فلم يبق منها سوى بعض الآثار التي لا تخلو من فائدة، اعتبارا لأمرين اثنين: فهي من جانبٍ شاهد على ماضي الكون والوسط الذي تكونت فيه الشمس؛ ومن جانب ثان، فإنها تكبح بقوة مرور الإشعاع إلى داخل الشمس، مما يعمل على تشكيل

بنيتها، وسنفصّل فيما بعد الحديث عن هذه المسألة. والأكسجين هو أقل العناصر وجوداً في الشمس بنسبة 0,061 في المائة، وهي تحتوي أيضاً على الكاربون بنسبة 0,03 في المائة، والأزوت بنسبة 0,0084 في المائة.

لماذا تلمع الشمس؟

يمكننا الآن الإجابة على هذا السؤال بالقول إنها تلمع لأنها مفاعل حراري نووي ذو حصر جذبي، أو بلغة أبسط، إنها تلمع لأنها حارة، وهي حارة لأنها تحول جزءاً من كتلتها إلى طاقة، وهذا التحويل يتحقق بفضل انصهار الهيدروجين في الهليوم الذي يتكون منه. وسنرى أن هذا الانصهار ممكن، لأن وزن الطبقات الخارجية للشمس يُكثِّف ويسخِّن الطبقات الداخلية. لكن، كيف التحققُ من صواب هذا التفسير دون غيره؟ فنَّدْنا على التوالي فكرة الشمس الإلهية، والشمس المكوَّنة من جوهر ثابت، والشمس كتلة الفحم، والشمس تتساقط عليها النيازك تباعاً، والشمس المتقلصة، والشمس ذات النشاط الإشعاعي، فما الذي يجعلنا إذن ننتصر للتفسير الحراري النووي ونرى أنه الأكثر تماسكاً؟

طبعاً لا يمكن أن نزعم امتلاك الحقيقة كاملة، ولكن مهما يكن، فلأول مرة نستطيع بناء نظرية حول الشمس تضع في الحسبان كل القوانين الفيزيائية المعروفة، إضافة إلى أنها تنسجم وكل الملاحظات المتوفرة.

ومع ذلك تظل بعض الأسئلة الثانوية عالقة. فلماذا مثلاً لا تحرق الشمس كل ذراتها من الهيدروجين في بضع ثوانٍ؟ ولماذا يتطلّب الانصهار فرناً تبلغ حرارته عدة ملايين درجة مئوية؟ ولماذا لا تتجاوز حرارة سطح الشمس 5500 درجة مئوية؟ وكيف تطوّرت الشمس؟ وغيرها من الأسئلة كثير.

إننا نعثر على الجواب في الفيزياء النووية وفي الجاذبية. والقارئ المتعجِّل سيكتفي بمعرفة أن الانصهار يتطلب مستوى حرارة يصل إلى ملايين الدرجات المئوية، ناتجاً عن الضغط الذي تمارسه الطبقات الخارجية للشمس على طبقاتها الداخلية،

لينتقل بعدها إلى الفصل الموالي. أما القارئ الذي يحدوه حب الاستطلاع فسيسعى إلى شفاء غليله بالتوقف مليّاً عند خبايا العناصر النووية.

تتكون النواة من **نكليونات**، أي من بروتونات ونيترونات متجاذبة ومتلاصقة بفعل القوة النووية. ولفك هذا الارتباط وإبعاد النكليونات بعضها عن بعض، يجب مدُّ النواة بالطاقة. وعلى العكس من ذلك، فإن المسلسل التناظري لتشكل نواة انطلاقاً من مكوناتها يحرر مقدار الطاقة اللازم لفكها. وهذا ما يجعل النواة الناتجة عن ذلك أخفَّ من حاصل كتل مكوناتها، إذ تنقصها الطاقة المحرَّرَة في **الانصهار**. هكذا يحرر انصهار الهيدروجين في الهليوم طاقة تساوي 0,7 في المائة من الكتلة الأصلية. قد يبدو هذا القدر ضئيلاً، ولكن معناه أن أي كيلوغرام من الهيدروجين يتحول إلى هليوم يحرر ما يعادل سبعة غرامات من المادة في شكل

طاقة، أي 180 مليون كيلووات/ ساعة، أي ما تنتجه محطة نووية في خمسة أيام. وتحول الشمس 600 مليون طن من الهيدروجين إلى هليوم في الثانية، وتتبدَّد أربعة ملايين من بينها في شكل ضوء.

يمر انصهار الهيدروجين في الهليوم بمجموعة من المراحل. ولنذكر بأن النُّوى الذرية هي التي تنصهر، وأن نواة الهيدروجين هي بروتون منفرد. في المرحلة الأولى ينصهر بروتونان لتكوين نواة ديوتريوم مكونة من بروتون ونيترون، ولْنلاحظ أن أحد البروتونيْن تحول إلى نيترون. وينصهر هذا الديوتريوم بدوره مع بروتون آخر لتكوين نواة هليوم 3، أي بروتونيْن ونيترون. وأخيراً تنصهر نواتا هليوم 3 لتكوين نواة هليوم 4، أي بروتونيْن ونيترونيْن، عن طريق تحرير بروتونَيْن. والحصيلة النهائية لهذه السلسلة من التفاعلات التي يُطلَق عليها اسم **سلسلة برتون–بروتون**، هي إذن تحول أربعة بروتونات إلى

نواة هليوم. وتتجلى الطاقة الناجمة عن اختلاف الكتلة في شكل **طاقة حركية**، وهي هنا سرعة النوى الناتجة عن التفاعل. وهذه النوى تنقل فيما بعد جزءاً من هذه الطاقة إلى جيرانها خلال التصادمات.

عندما يحتوي نجم ما على كمية صغيرة من الكربون، كما هو الحال مع الشمس، تستعمل آليةُ انصهار أخرى، يُطلَق عليها اسم دورة CNO، أي دورة الكربون والنيتروجين والأكسجين، هذا الكربون يكون محفِّزاً لتحويل الهيدروجين إلى هليوم. وتنصهر نواة الكربون تباعاً مع أربع نوى من الهيدروجين، ولكن النواة النهائية تتميز بعدم استقرارها وتنفصل إلى نواة كربون ونواة هليوم. وبما أن الكربون الأصلَ ينشأ من جديد على حالته الأولى، وبما أن المكونات الوسيطة اختفت تماماً، فإن الحصيلة الخالصة لدورة الكربون والنيتروجين والأكسجين تتمثل إذن في تحويل أربعة بروتونات

إلى نواة هليوم. وإذا كانت آلية الانصهار هذه فعالة جداً في درجة حرارة عالية، إذ إنها تزود النجوم الحارة ذات الكتلة المرتفعة بالجزء الأكبر من طاقتها، فإنها أقل فعالية من سلسلة بروتون–بروتون في درجة حرارة منخفضة، إذ لا تساهم سوى بنسبة 2 في المائة من طاقة الشمس، هذا النجم البارد الذي يدين بنسبة 98 في المائة من طاقته لسلسلة بروتون–بروتون. ولا يستغربنَّ القارئ استعمالنا نعت البارد، فكل شيء نسبي!

ولحسن حظنا، فهذه التفاعلات لا تحدث في درجات الحرارة السائدة في كوكبنا الأرض، وإلا لكان الهيدروجين الموجود في البحار قد انصهر وتحول إلى هليوم محرِّراً طاقة مدمرة لا تُبقي ولا تذر. إنها لا تقع إلا في درجة حرارة مرتفعة جداً تبلغ عدة ملايين درجة مئوية. وسبب ذلك أن القوة النووية التي تجذب النكليونات وتدفعها إلى

التلاصق في النوى ليس لها سوى مدىً قصير. ولكي يتحقق الانصهار بين نواتين، يجب أن تكونا قريبتين جداً من بعضهما البعض. ولكن عندما تفصل بين النوى مسافات كبيرة، يوجد بينها تنافر ذو مصدر كهربائي، لهذا لا تتجاذب. والحل الوحيد يتمثل في مدِّها بسرعة كبيرة في البداية، وفي هذه الحالة، تضطر رغم تمنُّعها الشديد اضطراراً إلى الاقتراب من بعضها البعض إلى درجة تخضع معها إلى قوة الجذب النووي، مما يدفعها إلى الانصهار. وليس هناك اختلاف بين مدِّ النُّوى بسرعة كبيرة وتسخينها بقوة، فنحن هنا أمام العملية نفسها؛ فالحرارة، لدى العالم الفيزيائي، ليست الحرارة سوى الاضطراب غير المنظم للذرات أو النوى، وكلما كانت أكثر حرارة، اضطربت أكثر. لهذا يتوجب تسخين النوى بدرجة حرارة تبلغ عدة ملايين درجة مئوية لجعلها تنصهر، من هنا حديثنا عن التفاعلات

الحرارية النووية.

سبق أن لاحظنا أن أربعة بروتونات إذا انصهرت لتكوين نواة هليوم مكونة من بروتونيْن ونيترونيْن، فإن بروتونيْن لا بد أن يتحولا في لحظة ما إلى نيترونيْن. والحال أن كل بروتون عندما يتحول إلى نيترون، فإنه يحضر معه في كل مرة هدية في شكل بوزترون، أو مضاد الإلكترون، وجزيئة أولية وهي نيوترينو. ويحدث مباشرة فناء متبادل بين البوزترون وأحد الإلكترونات العديدة الموجودة في الشمس، أما النيوترينو فلا يتفاعل مع أي عنصر آخر، ويخرج مباشرة من باطن الشمس. بعبارة أخرى، فإن الشمس شفافة بالنسبة إلى جزيئات النيوترينون، مما يجعل «جزيئات النيوترينو» هذه مصدراً لمعلومات مباشرة حول العمليات التي تقع في باطن الشمس، وهي عمليات لا تستطيع النماذج النظرية حول الشمس سوى أن تعيد تشكيلها بطريقة افتراضية،

انطلاقاً من الملاحظات الملتقَطَة في السطح. ولكن، طوال مدة خمس وعشرين سنة من ترصُّد جزيْئات النيوترون، مع كل الصعوبات التي تحفُّ بذلك، توصل العلماء إلى عدد أقل مرتين بل ثلاث مرات من ذاك الذي تنبأت بوجوده نظرية الشمس. وباءت بالفشل كل محاولات تعديلها دون المساس بالتناسب الحاصل بين الكميات الأخرى الملاحظَة، مما جعل الشك يتسرب إلى النفوس حول قيمتها. ولم يتفطن الباحثون إلاّ مؤخراً إلى أن الخطأ كامن في نظرية النيوترينو لا في نظرية الشمس، فهذه الجزيئات المنتَجَة في باطن الشمس قد تتحول لتتخذ أشكالاً متنوعة «عقيمة» يستحيل رصدها!

لماذا لا تحترق الشمس فوراً؟

مبدئياً لا شيء يمنع أن تذوِّب الشمس فوراً، أو تقريباً، كل ذراتها من الهيدروجين، أو على الأصح مجموع ذرات الهيدروجين التي لها درجة حرارة عالية بما يكفي لتنصهر. قد نذهب حدَّ الظن أن هذا حتماً سيقع، فكل عملية انصهار تحرر طاقة كبيرة تؤدي إلى تسخين النوى. وعندما ترتفع درجة حرارة هذه النوى، تنصهر بسهولة أكبر، مما يحرر طاقة أكبر، الشيء الذي يسخِّن النوى نفسها أكثر، لتنصهر بسهولة أكبر بكثير، وهكذا دواليك. والتفاعلات الحرارية النووية تتسارع بقوة بارتفاع درجة الحرارة. من الطبيعي إذن أن ينشأ الخوف من احتمال انطلاقها من عقالها لا تلوي على شيء. ويبدو أن هذا لم يحدث، فالشمس عوض أن تجمح وتحرن، فإنها تلمع ببريق منتظم تقريباً

منذ مئات ملايين من السنين، كما تدل على ذلك الآثار الجيولوجية والمستحثَّات. لا بد أن هناك إذن آلية ضابطة، ومثبّتاً حرارياً يحصر حرارة الشمس الداخلية ويمنع خروجها عن السيطرة. وهي آلية بسيطة تتولَّد من كتلة الشمس نفسها أو بالأحرى من الجاذبية. والملاحَظ أن الجاذبية تنفعل بالحرارة بطريقة خاصة، فبينما تسخن المادة عندما تتلقى الطاقة، يكفي في هذا الصدد أن نستحضر قِدْر ماء موضوع فوق النار، فإن مجموعة من الأشياء المرتبطة فيما بينها عن طريق الجاذبية، سواءٌ تعلق الأمر بالبروتونات أو المجرّات، تسخن عندما تفقد الطاقة. ورغم أن تفاعل الجاذبية مع الطاقة قد يبدو غريباً في الوهلة الأولى، فإنه مع ذلك لا ينطوي على أي سر مُلْغز. إن قوة الجاذبية تسرِّع الأشياء بكثافة أكبر كلما كانت قريبة بعضها من بعض، والسرعة المكتَسبَة بهذا الشكل تعادل درجة حرارة. وعندما

تكون مجموعتنا من الأشياء في وضعية توازن، تتحقق علاقة بين درجة حرارتها ومتوسط المسافة التي تفصل بينها، وبالتالي مع حجم النسق. وكلما تقلص الحجم، ارتفعت درجة الحرارة، والعكس صحيح. وهذا هو السبب الذي جعل العالمين هلمهوتز وكلفين يظنان أن تقلص الشمس يؤدي إلى سخونتها رغم أنها تفقد الطاقة نتيجة إشعاعها. وهذه الفكرة لا تتناقض مع قانون المحافظة على الطاقة، ذلك أن الجاذبية خلال التقلص توفر الطاقة المفقودة بفعل إشعاع الشمس، وأيضاً الطاقة الحرارية المرتبطة بسخونتها. ولْنلاحظْ أن الجاذبية لو خلت لها الساحة فإنها ستؤدي إلى حالة عدم استقرار، فكلما تقلصت الشمس، سخنت أكثر، وزاد إشعاعها، لتتقلص أكثر، مما سيجعل المسلسل يخرج عن السيطرة. ويحلو للطهرانيين أن يطلقوا على هذه الوضعية اسم انعدام الاستقرار الجذبي

الحراري. ومع ذلك، نكرر القول إن الشمس مستقرة منذ مئات الملايين من السنين. والجاذبية غير مستقرة مثلها في ذلك مثل المحرك الحراري النووي. ولكن العجيب المذهل أن كل واحد منهما يحقق استقرار الآخر ليشكلا معاً مثبّتاً حرارياً! فإذا ارتفعت حرارة الشمس الداخلية، تتسارع التفاعلات الحرارية النووية لتوفر فائضاً من الطاقة. تنفعل الجاذبية مع هذه الزيادة عن طريق تمديد قلب الشمس، وهذا التمديد يمتص طاقة أكبر من الفائض الحراري النووي، فيبرد قلب الشمس، وتنخفض الحرارة. والعكس صحيح، ذلك أن انخفاضاً في الحرارة يبطِّئ التفاعلات الحرارية النووية، وتتدخل الجاذبية لتقلص قلب الشمس الذي يسخن، مما يعطي الانطلاقة من جديد لإنتاج الطاقة. ويتميز المثبِّت الحراري بفعالية مدهشة، فنظرية الشمس تبين أن حرارتها لم تتغير سوى بنسبة 5 في المائة

طوال ستمائة مليون سنة الأخيرة. ويقال إن حياة نجم قوامها معركة أبدية بين الجاذبية التي تسعى إلى تقليصه، والطاقة النووية التي تجنح إلى تمديده. وهي معركة تنتهي أطوارها دائماً بالتعادل السلبي، ما دام هناك مخزون من الطاقة النووية قادر على تعويض ما يتعرض حتماً للضياع بسبب الإشعاع. وعندما ينفد المخزون، تصبح الغلبة للجاذبية، ليحكم على النجم بالانهيار، وبذلك يتكون ثقب أسود نجمي.

هناك إذن مثبِّت حراري، ولكن من يضبط حرارته؟ إنها الجاذبية أيضاً، فهي تقلص النجمة إلى أن تنطلق التفاعلات النووية التي توقف التقلص. وتتحدَّد درجة حرارة التوازن بالكتلةِ والقطرِ اللذين يبلغهما النجم، إذ إن لها ببساطة علاقة تناسب طردي مع الكتلة، وتناسب عكسي مع القُطر. وفيما يخص نجمة لها كتلة الشمس وقطرها، تبلغ درجة التوازن الحراري بضعة ملايين من الدرجات

المئوية. وهي درجة مناسبة لا يمكن أن نحلم بأفضل منها، فهي تسمح للتفاعلات النووية بالانطلاق، وبالتالي لشمسنا باللمعان. وذاك من حسن حظنا، فلو كانت كتلة الشمس أصغر عشر مرات، لما كانت درجة الحرارة كافية لإشعال الشمس، التي كانت ستظل نجماً أسود إلى الأبد. وبما أن درجة الحرارة ترتفع مع الكتلة، فإن نجماً ضخماً له درجة توازن حراري أكبر من نجم خفيف، تحدث فيه التفاعلات النووية بسرعة أكبر، ويحترق فيه الهيدروجين في فترة أقصر. والنجم الصغير يحترق رويداً رويداً، أما النجم الكبير فتلتهمه النيران في وقت وجيز. ورغم أن نجماً ضخماً يتوفر في المنطلق على خزان أكبر من ذرات الهيدروجين، فإنه يحرقها في فترة قصيرة جداً مقارنةً بنجم صغير؛ لهذا فمتوسط عمره صغير جداً. ويبيِّن الحساب أن استقلالية الشمس إذا كانت عشر مليارات من السنين، فإن نجماً أكبر منها ثلاث

مرات، سيقل متوسط عمره على الأقل بمليار سنة، بينما يعيش نجم أخف ثلاث مرات، 100 مليار سنة. وهذا ما حدا ببعض الباحثين إلى القول بأن الحياة، على الأقل كما نعرفها، ما كان بالإمكان أن تتطور إلا بالقرب من نجم خفيف قادر على العيش بما يكفي كي يسمح لآليات التطور أن تشتغل وتحدث آثارها على مدد طويلة بما فيه الكفاية.

لماذا الشمس باردة إلى هذا الحد؟

إذا كانت حرارة الشمس مردُّها إلى تفاعلات حرارية نووية لا يمكنها أن تشتغل إلا بوجود درجات حرارة تبلغ عدة ملايين درجة مئوية، فلماذا لا تتجاوز درجة حرارة سطح الشمس 5500 درجة مئوية؟ وماذا يمنع الشمس أن تكون كلها كرة من الهيدروجين تبلغ درجة حرارتها 15 مليون درجة مئوية؟ باختصار، لماذا الشمس باردة إلى هذا الحد؟

جواب ذلك أن الحرارة لا تتولد إلا في الباطن وأنها تجد صعوبة قصوى في شق طريقها إلى السطح. وثقل الطبقات الخارجية للشمس يكثِّف الطبقات الداخلية ويسخِّنها. والطبقة الموجودة قريباً من السطح ليس فوقها ثقل كبير، لهذا فهي أقل تكثُّفاً وتسخيناً، وكثافتها ودرجة حرارتها ضعيفان. وكلما تم الهبوط في باطن الشمس، ازدادت المادة

تكدساً، وارتفع الضغط، وازدادت الكثافة، لترتفع الحرارة حتى تصل إلى 15 مليون درجة مئوية في الباطن. وبفعل الجاذبية، تكونت الشمس طبيعياً من طبقات من الكثافة والضغط والحرارة المتزايدة كلما اقتربنا من القلب. وتتسارع التفاعلات النووية بقوة مع الحرارة التي ترتفع كثيراً ذهاباً نحو قلب الشمس. وتنتج عن هذه الظاهرة مسألة غاية في الأهمية، «فالمنطقة النافعة» في الشمس، حيث يمكن أن يتحول الهيدروجين إلى هليوم، لا تمثل سوى 1 في المائة من حجم الشمس، و20 في المائة من القطر، لهذا فنصف الطاقة يُنتَج في جزء واحد في قلب الشمس من ألف جزء منها، أي ما يعادل 10 في المائة من القطر. هكذا، فإن إنتاج الطاقة لا يخضع كثيراً للبنية الكلية للشمس، بل هذه البنية هي التي ستنضبط بالأحرى لإنتاج الطاقة. مثلاً عندما يختلف الإنتاج في الطور الأخير من حياة نجم ما،

فإن البنية تعيد تشكيل نفسها تبعاً لذلك، فتُمدِّد الحجمَ خلال تحول الهليوم إلى كاربون، فيما يسمى مرحلة **العملاق الأحمر**، وتُقلِّصه عند نفاد المحروقات النووية في مرحلة **القزم الأبيض**. وتتحدّد الطريقة التي تتكيف بها البنية مع إنتاج معين بالصعوبة المتفاوتة في نقل الطاقة المنتَجة نحو الأطراف. وهناك طريقتان لنقل الطاقة، فإما أن تحملها المادة عند انتقالها هي نفسها، وإما أن تصدرها في شكل إشعاع نحو الخارج. ولكن الطريقتين معاً بطيئتان، فلا المادة ولا الإشعاع ينتقلان بحرية في وسط له حرارةُ باطن الشمس وكثافتُه.

وعند تجاوز بضعة آلاف من درجات الحرارة، تتحول الأجسام الصلبة والسائلة إلى غازات، أو على الأصح إلى **غازات مؤيَّنة**، بمعنى أنها مكوَّنة من ذرات فقدت بعضَ إلكتروناتها المحيطة وشكلت ما يسمى **البلازما**. وهذا الوسط يمنع مرور

الإشعاع الذي يُمتَص في أجزاء من المليمتر. وتُمتَص **الفوتونات**، وهي الجزيئات التي تكون الإشعاع، بمجرد ما تُرسَل إلى قلب الشمس، ثم تُرسل من جديد ليُعاد امتصاصها، وهكذا دواليك مليارات ومليارات من المرات. وشيئاً فشيئاً تنتقل طاقتها القوية الأصلية إلى ملايين الفوتونات ذات طاقة أضعف، أي فوتونات الضوء المرئي. والعجيب أن هذا المسلسل يستغرق مئات الآلاف من السنين! وتشبه الفوتونات شديدة الحرارة المنتَجة في منطقة القلب شخصا متعجلا جداً، يسرع الخطى وسط ساحة مكتظة بالناس، يصطدم بحشد غفير من أشخاص ثابتين في مكانهم، لهذا لا يتوانى عن دفعهم، حتى تخور قواه، وتنهار طاقته، فيعجز عن الذهاب بعيداً، ولكنه أفلح مع ذلك في جعل الجموع تتحرك وتضطرب. لكن، عوض شخص واحد على عجلة من أمره وسط الساحة، لنتخيَّلْ

حشداً غفيراً من أناس يتحركون، ببطء نعم، ولكن بعيدا عن المركز.

هكذا تنخفض الحرارة الشديدة بانتظام كلما تم الاقتراب من القلب، بإيقاع متفاوت حسب قوة الكبح التي تمارسها البلازما عند مرور الإشعاع. ومن بين الصعوبات التي يصادفها علماء الفلك اليوم وهم يحاولون بناء نموذج نظري حول الشمس، قلة معارفهم المتعلقة بطبيعة هذا الكابح المتمثل في عتامة البلازما، خاصة وأنها مرهونة بدرجة كبيرة بالكم المتفاوت المتوفر من العناصر الأخرى غير الهيدروجين والهليوم. وهذه العناصر، كما بينا ذلك سابقاً، لم يعد يوجد منها سوى آثار متفرقة في الشمس، مما يصعب معه قياس كميتها بدقة ودورها في جعل البلازما عاتمة. ويقدر العلماء أنها مسؤولة عن نصف العتامة تقريباً في المناطق الداخلية الوسطى، وعن أكثر من 90 في المائة قريباً

من الأطراف حيث درجة الحرارة أكثر انخفاضاً.

افترضنا ضمنياً حتى هذه اللحظة أن المادة لا تغير مكانها، وأن الإشعاع وحده ينتشر من القلب إلى الخارج. وهو ما يقع عندما نضع قدْر ماء على نار خفيفة، فالماء يسخن في القاع، وتنتقل حرارته صعوداً عن طريق التوصيل نحو طبقات الماء العليا. لكن إذا وضعنا قدر الماء على نار قوية، انطلقت آلية اشتغال مختلفة، فالماء الساخن يصعد إلى السطح والماء البارد يأخذ مكانه. وتنشأ حركات المادة في شكل عقد، ويطلق عليها اسم حركات انتقال الحرارة **بالحمل**. الأمر نفسه قد يحدث في الشمس، حيث تصعد فقاعة غاز وتتمدد نظراً لانخفاض الضغط مع الارتفاع. وإذا كانت كثافتها أقوى من كثافة المحيط، فإنها تهوي، وإلا فإنها تواصل الصعود. وينتج عدم استقرار عملية انتقال الحرارة بالحمل عندما تنخفض درجة الحرارة بسرعة كبيرة. وترتفع

المادة نحو السطح في بعض المناطق وتتهاوى في مكان آخر نحو الأعماق بفعل قانون المحافظة على المادة. ويثبت الحساب، فيما يخص الشمس، أن انتقال الحرارة بالحمل ليس له أي تأثير في الأعماق، ولكنه قريباً من السطح، يصبح الآلية الأساس في نقل الطاقة. ويمثل الاختلاف حول حجم انتقال الطاقة بالحمل السبب الثاني الذي يفرق بين النماذج النظرية حول الشمس، فاضطراب هذه الحركة يجعل من الصعوبة بمكان نَمْذجَتَها.

سواء انتقلت الطاقة المولَّدة في قلب الشمس عن طريق التوصيل أم الحمل، فإنها تصل بعد بضع مئات الآلاف من السنين إلى السطح. والكثافة والبلازما هناك من الضعف بحيث إن الإشعاع لا يُمتَص تقريباً. وحدها تبقى بعض الارتدادات فوق آخر الذرات الموجودة في هذا الغلاف الجوي الشمسي الذي يُدرَك بالكاد، وإلا فلا شيء يقف

في وجه الفوتونات التي تغادر الشمس بلا رجعة، منطلقةً في خط مستقيم في فراغ شفاف شفافيةً كاملة. وبعضها ستوقفه الأرض بعد ثمان دقائق، لنتأكد أن الشمس ما زالت تلمع، وبعضها الآخر سيتوقف عند كوكب آخر، بيد أن الأغلبية الساحقة ستمضي بعيداً في الفضاء ما بين الكواكب، إنها أشعة الشمس.

هل يمكننا التحكم في نظرية الشمس؟

تستحضر نظرية الشمس التفاعلات النووية وقوانين الديناميكا الحرارية والجاذبية وإرسال الإشعاع ونقله، وتقارن ذلك بالملاحظات التي تجعلنا نقدِّر كتلة الشمس وقطرها، وتكوين الطبقات الخارجية، وكثافة الضوء الواقع على السطح بأطوال موْجية مختلفة. وعلى هذه النظرية ألا تكتفي بتقديم صورة مكتملة عن الشمس كما تبدو لنا اليوم، ولكن عليها أيضاً ألا تتناقض مع المعطيات المستحثة التي تبين أن إشعاع الشمس لم يتغير سوى قليلاً منذ 600 مليون سنة. ونضيف شرطاً آخر يجب أن يتوفر في نظرية الشمس، وهو أنَّ عليها أن تتضمن كل المعارف التي اكتسبناها عن النجوم الأخرى التي لا تختلف عن الشمس إلا في كتلتها وتكوينها الكيميائي.

تفترض كل النماذج المبنية في إطار هذه

النظرية تكويناً كيميائياً أصلياً يقترب عموماً من ذاك الملاحَظ في السطح. وتنطلق من انخفاض الهيدروجين في منطقة القلب وما يصاحبه من تزايد للهليوم لتعيد بناء تاريخ تطور الشمس عبر الزمن. وهدفها التحكم في المتغيِّريْن اللذين تتوافر معرفة أقل عنهما، وهما العتَمة والانتقال الحراري بالحمل، لكي تتحصل لها في النهاية صورة مكتملة عن هذا النجم الذي تطور خلال 4,6 مليار سنة ليصبح له اليوم هذا القطر وهذا الإشعاع. وترى هذه النماذج أن احتياطات الهيدروجين الداخلية كلما انخفضت، تقلَّص القلب وسخن وتزايد إنتاج الطاقة. وتبعا لذلك، ازداد إشعاع الشمس أكثر فأكثر بنسبة 27 في المائة منذ 4,6 مليار سنة، و5 في المائة منها خلال 600 مليون سنة الأخيرة. وازداد حجم القطر أيضاً بوتيرة أضعف، وظلت درجة حرارة السطح تقريباً ثابتة. وسيزداد الإشعاع في

المستقبل بالوتيرة نفسها تقريباً، وسيصبح الجو حارا جداً وتتبخر البحار. وبعد 4,8 مليار سنة، سيؤدي نفاد الهيدروجين في قلب الشمس إلى انطلاق مرحلة «العملاق الأحمر»، وخلالها ستحرق الشمس الهيدروجين المحيط بالقلب، لتأتي بعدها مرحلة انصهار الهليوم في القلب، ثم حوله. حينها سيكبر قطر الغلاف إلى حدّ احتواء مدار الأرض مما سيؤدي إلى فنائها. وفيما بعد، ستتقلص الشمس بعد أن تستنفد التفاعلات النووية احتياطاتها، وتصبح نجماً قزماً أبيض صغيراً مثل الأرض، وستبرد ببطء، وهذا موضوع آخر ليس هنا مجاله.

كيف السبيل إلى التحكم في هذه النماذج؟ سيكون من باب الحشْو القول إنها منسجمة والملاحظات ، فهي أصلاً بُنيت لتفسيرها! ومع ذلك وجب الإقرار أنها اجتازت بنجاح ثلاثة اختبارات. سبق أن أشرنا إلى أولها المتعلق برصد جزيئات

النيوترينو القادمة من الشمس. ويتمثل الاختبار الثاني في رصد ذبذبات الشمس، فهذا النجم نطاق من الهيدروجين والهليوم في وضعية توازن. وإذا اختل هذا التوازن محلياً لسبب من الأسباب، كارتفاع مفرط في الضغط وقع عرَضاً، فإنه يستقيم من جديد عن طريق انتشار موجة ضغط. وينتج عن عمليات الضغط والتمدد هذه انتقالٌ ضعيف لمادة الشمس يتراوح ما بين بضعة أمتار وعدة كيلومترات، ويمكن رصد الحركات الارتجاجية هذه من الخارج عن طريق «تأثير دوبلر»، حيث تُشبَّه الشمس في ذبذبتها بطبل ضخم ذي ثلاثة أبعاد. ويمكِّن تحليلُ هذه الموجات السمعية إلى جانب أمور أخرى من قياس تغيرات سرعة الصوت عبر الشمس، وبما أن هذه السرعة تخضع لكثافة الوسط الذي تعبُره ولدرجة حرارته، يصبح بالإمكان أيضاً التحكم في نظرية الشمس وضبط معطياتها. ويمكن

القول إن الانسجام كبير جداً في هذه النقطة بين الملاحظات ونظرية الشمس. ويتمثَّل الاختبار الثالث في تطبيق هذه النظرية على النجوم الأخرى. وبما أن قوانين الديناميكا الحرارية المتعلقة بالإشعاع والجاذبية أو الفيزياء النووية قوانين كونية، فليس هناك ما يبرِّر أن تتضمن تلك النظرية جوانب خاصة بالشمس دون غيرها من النجوم. وإذا كانت نظرية الشمس سليمة، فيجب حتماً أن تنسحب على أي كرة غازية أياً كانت كتلتها وتكوينها الكيميائي. يبقى إذن أن نُخضِع النظرية لمحك الملاحظات. وأول ما افترضته النظرية في هذا الصدد حصر الاختلاف المهم الوحيد بين نجمين في الكتلة التي تحدد بحكم الواقع قطرَيهما وإشعاعَيهما ولونيهما وتطورهما. وبالتالي فإن كتلة معينة يقابلها لون وإشعاع محددان، وتبعاً لذلك، تمَّ وضع مضبوط في رسم بياني يرتِّب إشعاع النجوم حسب لونها. وإذا

كانت كل كتلة تقابلها نقطة في الرسم البياني، فإن النجوم من مختلف الكتل تصطفُّ في شكل منحنى في ذلك الرسم البياني. وهذا هو بالضبط ما لاحظه في مستهل القرن العشرين عالما الفلك، الدنمركي إجنار هرتزونغ Ejnar Hertzsprung والأمريكي هنري نوريس راسل Henry Norris Russell، إذ بينا أن الأغلبية الساحقة من النجوم لا تتوزع اعتباطاً في منحنى يُسمى المتوالية الأساسية. وتقول النظرية أيضاً إن النجوم تلازم تقريباً موضعها طوال حياتها، إلا في النهاية عندما تستنفد ذراتها من الهيدروجين الموجود في منطقة القلب، فتضطر بنيتها إلى إعادة تعديل ذاتها لتعويض ما ضاع. وفي هذه اللحظة، يتغير كل من الإشعاع واللون بسرعة عبر الزمن، وكل نجمة تعبر نقط الرسم البياني متنقلة من مرحلة العملاق الأحمر إلى مرحلة القزم الأبيض، إلا في حالة انفجارها وتحولها إلى نجم متفجر أعظم.

وهذه المراحل المضطربة أقصر بكثير من الفترة الطويلة المستقرة التي استغرقتها المتوالية الأساسية. وتفسر النظرية لماذا يُلاحَظ نسبياً عدد أقل من النجوم في هذه الوضعية. وتمكن النظرية أيضاً من حساب تطور كل نجمة على حدة حسب كتلتها، وكما ذكرنا ذلك سابقاً، فإنها تفترض أن النجوم الضخمة تلمع لمعاناً أكثر كثافة ولكنه أقصر زمنياً مقارنة بالنجوم الخفيفة. وبالتالي، فمن المفترض أن يُلاحَظ داخل مجموعة كبيرة من النجوم التي تكوَّنت في نفس الوقت اختفاءُ منطقة المتوالية الأساسية التي تقابل أكثر النجوم لمعاناً. وهذا بالضبط ما يُلاحَظ داخل مجموعة النجوم القريبة، فكلما كانت المجموعة أقدم، انحصرت عناصرها في أكثر النجوم برودة وشحوباً. نخلص إذن إلى أن النظرية المصاغة حول الشمس تنطبق كل الانطباق على كل النجوم، مما يبرر ثقتنا فيها.

هل يمكن استنساخ الشمس فوق كوكب الأرض؟

منذ أن أدرك الإنسان أن طاقة الشمس المتناهية، فيما يبدو، مصدرها تكون الهليوم نتيجة انصهار الهيدروجين المتوفر بكثرة، الموجود في كل قطرة من قطرات الماء، ظل يحلم باستنساخ نموذج مصغَّر يكرر فوق كوكب الأرض ما يقع في قلب الشمس. والحال أن المفاعلات النووية المعروفة لا تستجيب لهذا المطمح، فهي لا تستعمل طاقة الانصهار، بل طاقة **الانشطار** المحرَّرة في التفتت النووي لنواة ثقيلة جداً مثل نواة الأورانيوم. بيد أن الأورانيوم نادر، من هنا كانت الرهانات السياسية والاقتصادية المحيطة به.

لكن، ثمّة مجموعة من العوائق تجعل من الصعوبة بمكان الاستفادة العملية من الانصهار، وتتمثل

في ضرورة تسخين الهيدروجين مسبقاً في درجة حرارة عالية جداً تبلغ عشرات الملايين من الدرجات المئوية، وتثبيت تفاعل الانصهار في حيّز محدد، ووضع البلازما والاحتفاظ بها في وعاء طوال فترة زمنية تكفي لاستعادة الطاقة. أما الشمس، فهي توظف كتلتها لتسخين الغاز وتثبيته في الحيز، وضبط الانصهار، وهي شروط لا تتوافر لدينا. وقد حاولت مجموعة من برامج البحث الدولية الضخمة التوصل إلى نفس النتيجة ولكن في مستوى مصغَّر. ومن بين الأفكار التي حاول الباحثون تجريبها، استعمال أشعة ليزر ذات قوة كبرى لتسخين كرات صغيرة من الهيدروجين وحصر البلازما بواسطة حقول مغناطيسية تنغلق على نفسها لتكوين نوع من القارورات المغناطيسية بلا حواف. وإلى حد ما، تتجاوز الطاقة الضرورية لإشعال البلازما وحصرها تلك المحرَّرة عن طريق الانصهار،

ولكن الأبحاث ما زالت متواصلة. ويمكن أيضاً استعمال قنبلة الأورانيوم للإشعال، وترك الانصهار يتواصل ويحتدّ، دون المبالاة بالحصر، مما يمثل قنبلة هيدروجين جاهزة تماماً للاستعمال.

لائحة المراجع

Pierre Lantos. *Le Soleil*. PUF. coll. « Que-sais-je ? ». 1994.

Jean-Claude Pecker. *Sous l'étoile Soleil*. Fayard. coll. « Le temps des sciences ». 1984. et *L'Avenir du Soleil. Hachette*-Littératures. coll. « Questions de science ». 1990.

Sylvie Vauclair. *La Chanson du Soleil : l'intimité de notre étoile dévoilée par ses vibrations*. Albin-Michel. coll. « Sciences d'aujourd'hui ». 2002.

ثبت بالمصطلحات

Longueurs d’onde	أطوال موجية
Uranium	الأورانيوم
Proton	بروتون
Positron	بوزترون
Effet Doppler	تأثير دوبلر
Proportionnel	تناسب طرْدي
Inversement proportionnel	تناسب عكسي
Température d’équilibre	توازن حراري
Gravitationnelle	جذبي
Confinement	حصر
La thermodynamique	الديناميكا الحرارية
CNO	دورة الكربون والنيتروجين والأكسجين
Deutérium	ديوتريوم
Radium	الراديوم
Opaque	عاتم
Opacité	عتامَة
Phase du Nain blanc	مرحلة العملاق الأحمر

Phase du Géant rouge	مرحلة القزم الأبيض
Ionisé	مؤيَّن
Annihilation réciproque	الفناء المتبادل
Photons	فوتونات
Energie cinétique	طاقة حركية
Thermostat	مثبِّت حراري
Antimatière	المادة المضادة
Paléontologique	مستحثة
Spectroscopie	معاينة بالمنظار الطيفي
Convection	انتقال الحرارة بالحمل
Conduction	انتقال الحرارة بالتوصيل
Supernova	نجم متفجر أعظم
Instabilité gravothermale	انعدام الاستقرار الجذبي الحراري
Fusion	انصهار
Nucléon	نكليون
Modélisation	نمذجة
Neutron	نيترون
Neutrino	نيوترينو
Hélium	هليوم

هذا الكتاب

لم نتوقف أبداً لنتساءل عن سبب لمعان الشمس. إنها تلمع تماماً مثلما هو البحر أزرق، والنباتات خضراء... لكن ما إن نتساءل عن سبب لمعانها، تنهال على الذهن أسئلة أخرى من قبيل، متى لمعت الشمس أول مرة؟ هل يمكن أن ينطفئ ضوؤها يوماً ما؟ ولماذا لا تحترق الشمس بفعل طاقتها نفسها؟ وقد يستغرب القارئ في خضم هذه التساؤلات عندما يفاجئه الكاتب بعنوان في شكل سؤال من قبيل: ما الذي يجعل الشمس باردة إلى هذا الحد؟ لكن، قبل هذا وذاك، ما هي طبيعة الشمس؟ ومنذ متى وهي تلمع؟ وألا يُحتمل أن ينفد وقودها مما سيؤدي إلى انطفاء الشمس؟ وأخيراً، منذ متى والشمس تحترق؟ هذه الأسئلة لم تعد تُطرَح في المجال الفلسفي، وإنما في مجال الفيزياء بتوظيف الأعداد والكميات القابلة للقياس، مما أدى إلى ظهور نظرية الشمس التي

تسعى إلى تقديم أجوبة علمية على الأسئلة سالفة الذكر وغيرها. تستحضر هذه النظرية التفاعلات النووية وقوانين الديناميكا الحرارية والجاذبية وإرسال الإشعاع ونقله، وتقارن ذلك بالملاحظات التي تجعلنا نقدِّر كتلة الشمس وقطرها، وتكوين الطبقات الخارجية، وكثافة الضوء الواقع على السطح بأطوال موجية مختلفة. وهي نظرية في طور التشكل اعتباراً لتعقد مجال بحثها، لهذا تغدو مطالَبة بعدم الاكتفاء بتقديم صورة مكتملة عن الشمس كما تبدو لنا اليوم، لكن عليها أيضاً ألا تتناقض مع المعطيات المستحثة التي تبين أن إشعاع الشمس لم يتغير سوى قليلاً منذ 600 مليون سنة، كما أن عليها أن تتضمن كل المعارف التي اكتسبها الإنسان عن النجوم الأخرى التي لا تختلف عن الشمس إلا في كتلتها وتكوينها الكيميائي.

نبذة عن المؤلف:

آلان بوكي عالم فيزيائي وفلكي ومدير أبحاث بالمعهد الوطني للبحث العلمي. يهتم أساسا بالمادة السوداء. ألف العديد من الكتب في مجال تبسيط العلوم. وترجم عدة مؤلفات في ميدان العلوم. ومنها إصبع غاليلي «لبيتر و.أتكينس». وأسرع من الضوء «لجاو ماجيخو».

نبذة عن المترجم:

د. رشيد برهون ناقد أدبي ومترجم وكاتب، عضو اتحاد كتاب المغرب. حصل على التبريز في الترجمة والدكتوراه في الآداب. يشتغل حالياً أستاذاً لمادة الترجمة وتحليل الخطاب بمدرسة الملك فهد العليا للترجمة بطنجة. نشر مقالات في النقد الأدبي ونظريات الترجمة في العديد من المجلات العربية. ومن مؤلفاته: درجة الوعي في الترجمة (2004)؛ في ضيافة القصيدة (2007)، إضافة إلى سلسلة قصص للأطفال مزدوجة اللغة. كما صدرت له العديد من الترجمات.



ما السرُّ في لمعان الشمس؟

لم نتوقف أبداً لنتساءل عن سبب لمعان الشمس. إنها تلمع تماماً مثلما هو البحر أزرق، والنباتات خضراء... لكن ما إن نتساءل عن سبب لمعانها، تنهال على الذهن أسئلة أخرى من قبيل، متى لمعت الشمس أول مرة؟ هل يمكن أن ينطفئ ضوءُها يوماً ما؟ ولماذا لا تحترق الشمس بفعل طاقتها نفسها؟ وقد يستغرب القارئ في خضم هذه التساؤلات عندما يفاجئه الكاتب بعنوانٍ في شكل سؤال من قبيل: ما الذي يجعل الشمس باردة إلى هذا الحد؟ لكن، قبل هذا وذاك، ما هي طبيعةَ الشمس؟ ومنذ متى وهي تلمع؟ وألا يُحتمل أن ينفد وقودها مما سيؤدي إلى انطفاء الشمس؟ وأخيراً، منذ متى والشمس تحترق؟ إنه كتاب يحاول إيجاد إجابات للأسئلة السالفة وأكثر.

المعارف العامة
الفلسفة وعلم النفس
الديانات
العلوم الاجتماعية
اللغات
العلوم البحتة والتقنية / التطبيقية
الفنون والألعاب الرياضية
الأدب
التاريخ والجغرافيا وكتب السيرة




هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY


9 789948 170396